下载APP

16 | 如何使用噪声生成复杂的纹理？

2020-07-29 月影

跟月影学可视化 进入课程 >

讲述：月影
时长 11:27 大小 10.50M

你好，我是月影。

在第 11 节课中，我们使用随机技巧生成噪点、迷宫等复杂图案。它们的作用都是表达数据和增强视觉效果。要想在可视化视觉呈现中实现更加酷炫的视觉效果，我们经常需要生成能够模拟大自然的、丰富而复杂的纹理图案。

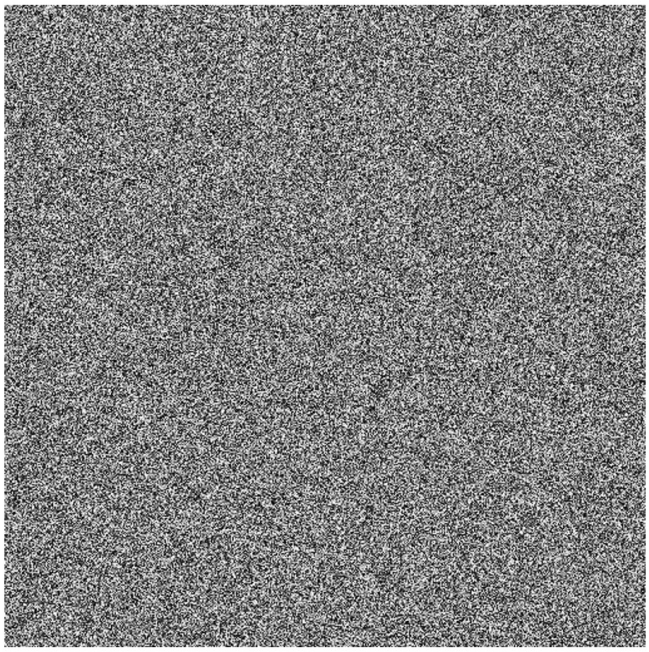
那么这节课，我们就继续来讨论，如何使用随机技巧来生成更加复杂的纹理图案。

什么是噪声？

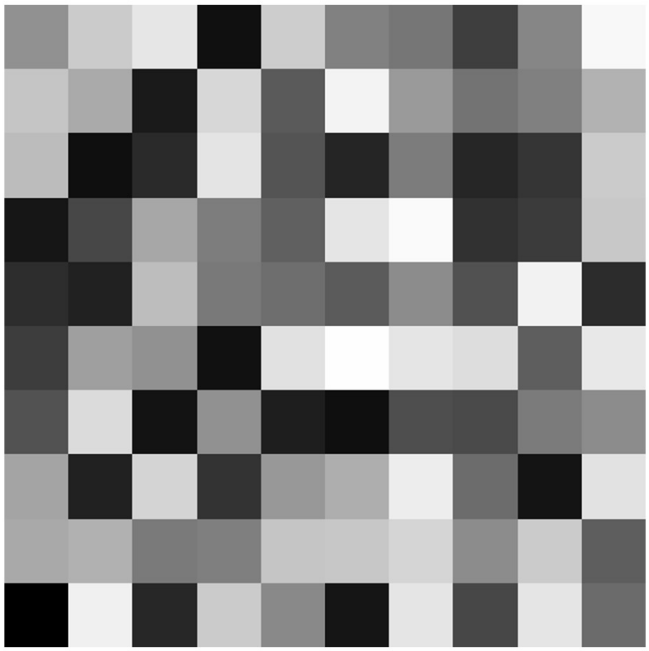
我们先来回忆一下，随机效果是怎么生成的。在第 11 节课中，我们使用一个离散的二维伪随机函数，随机生成了一片带有噪点的图案。代码和最终效果如下：

复制代码

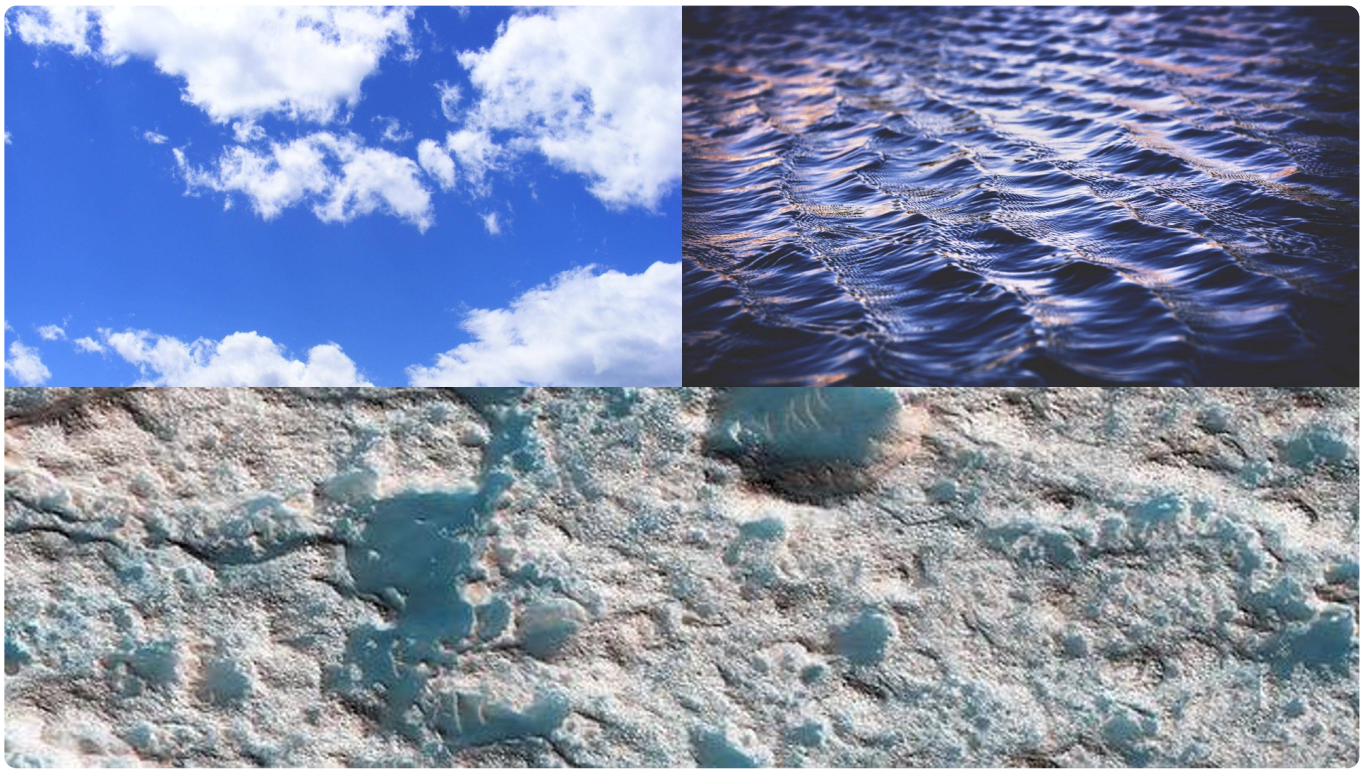
```
float random (vec2 st) {
    return fract(sin(dot(st.xy,
        vec2(12.9898,78.233)))*
        43758.5453123);
}
```



然后，我们用取整的技巧，将这个图案局部放大，就呈现出了如下的方格状图案：



在真实的自然界中，这种离散的随机是存在的，比如鸟雀随机地鸣叫，蝉鸣随机地响起再停止，雨滴随机地落在某个位置等等。但随机和连续并存是更常见的情况，比如山脉的走向是随机的，山峰之间的高度又是连续，类似的还有天上的云朵、水流的波纹、被侵蚀的土地等等。



因此，要模拟这些真实自然的图形，我们就需要把随机和连续结合起来，这样就形成了**噪声**（Noise）。

如何实现噪声函数？

随机和连续究竟是怎么合成的呢？换句话说，噪声函数是怎么实现的呢？

因为随机数是离散的，那如果我们对离散的随机点进行插值，可以让每个点之间的值连续过渡。因此，我们用 smoothstep 或者用平滑的三次样条来插值，就可以形成一条连续平滑的随机曲线。

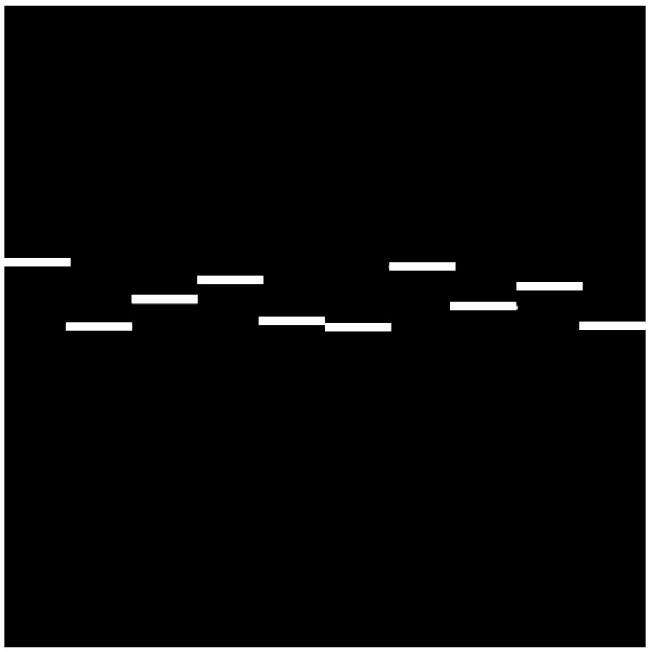
下面，我们就通过生成折线的小例子来验证一下。代码如下：

复制代码

```
#ifdef GL_ES
precision highp float;
#endif
```

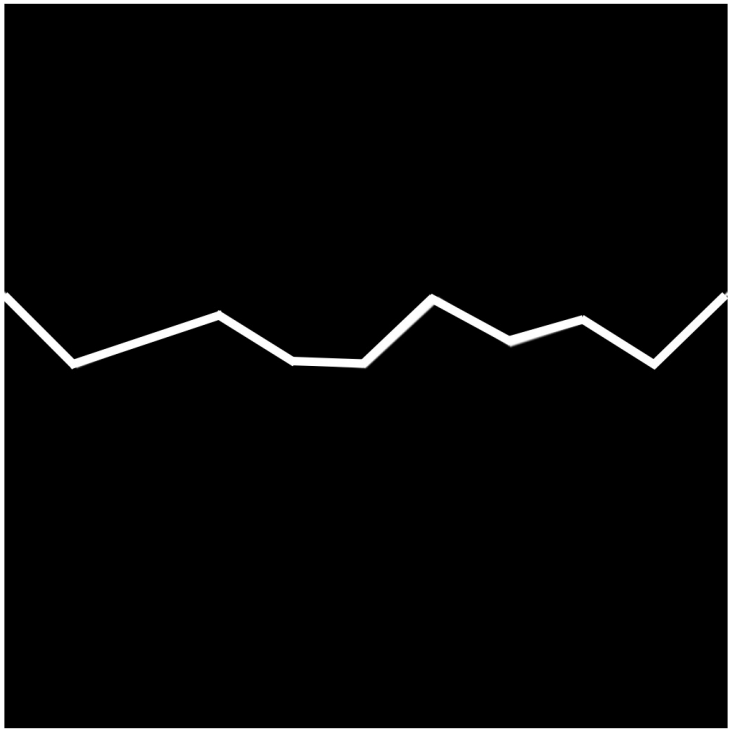
```
4  varying vec2 vUv;
5
6  // 随机函数
7  float random (float x) {
8    return fract(sin(x * 1243758.5453123));
9  }
10
11 void main() {
12   vec2 st = vUv - vec2(0.5);
13   st *= 10.0;
14   float i = floor(st.x);
15   float f = fract(st.x);
16
17   // d直接等于随机函数返回值，这样d不连续
18   float d = random(i);
19   // float d = mix(random(i), random(i + 1.0), f);
20   // float d = mix(random(i), random(i + 1.0), smoothstep(0.0, 1.0, f));
21   // float d = mix(random(i), random(i + 1.0), f * f * (3.0 - 2.0 * f));
22
23   gl_FragColor.rgb = (smoothstep(st.y - 0.05, st.y, d) - smoothstep(st.y, st.y
24   gl_FragColor.a = 1.0;
25
```

首先，我们对 floor(st.x) 取随机数，取出 10 个不同的 d 值，然后把它们绘制出来，就能在画布上呈现出 10 段不连续的线段。

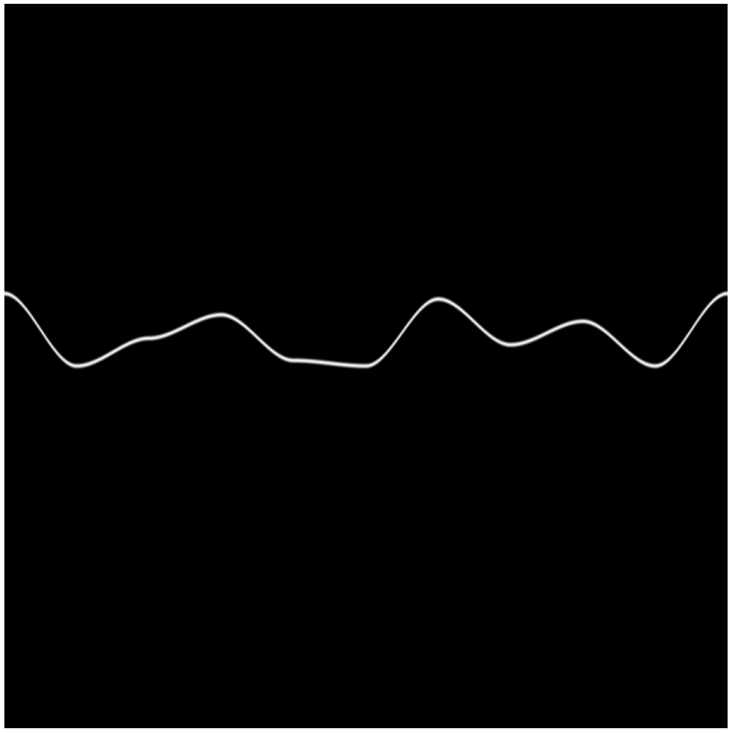


然后，我们用 mix(random(i), random(i + 1.0), f); 替换 random(i)（你可以将上面代码第 18 行注释掉，将第 19 行注释去掉），那么这些线段的首尾就会连起来，也就是说我们将

得到一段连续的折线。

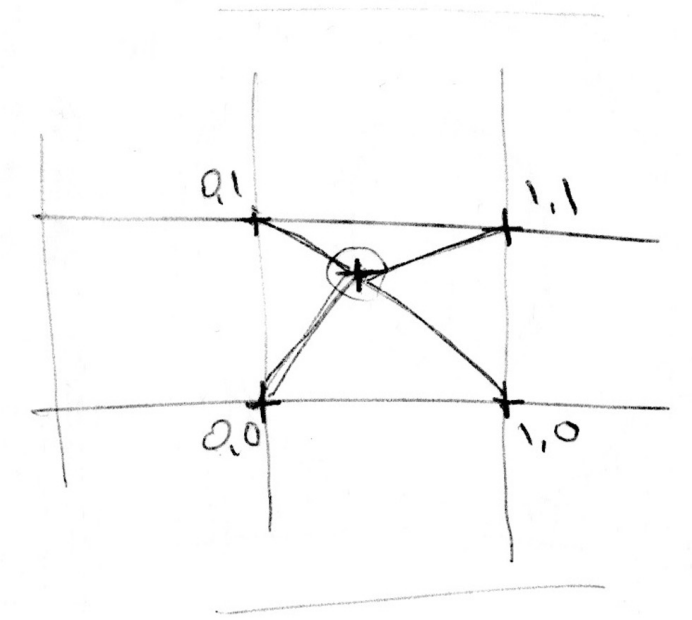


不过，我们得到的折线虽然连续，但因为这个函数在端点处不可导，所以它不平滑。因此，我们可以改用 mix(random(i), random(i + 1.0), smoothstep(0.0, 1.0, f)); 替换 random(i)（上面代码的第 20 行），或者直接采用三次多项式 mix(random(i), random(i + 1.0), f * f * (3.0 - 2.0 * f));（上面代码的第 21 行，这个三次多形式能达到和 smoothstep 一样的效果）来替换 step。这样，我们就得到一条连续并且平滑的曲线了。



这也就是我们想要的噪声函数了。

但是，这个函数是一维的，如果要使用二维的，我们还可以把它扩展到二维。这个时候，我们就必须要知道，二维噪声和一维噪声之间的区别。很明显，一维噪声是对两点进行插值的，而二维噪声需要对平面画布上方形区域的四个顶点，分别从 x、y 方向进行两次插值。



图片来源：The Book of Shaders

具体怎么做呢？我们可以把 st 与方形区域的四个顶点（对应四个向量）做插值，这样就能得到二维噪声。

复制代码

```
#ifdef GL_ES
precision highp float;
#endif

varying vec2 vUv;

float random (vec2 st) {
    return fract(sin(dot(st.xy,
                         vec2(12.9898,78.233)))*
        43758.5453123);
}

// 二维噪声，对st与方形区域的四个顶点插值
highp float noise(vec2 st) {
```

```
    vec2 i = floor(st);
    vec2 f = fract(st);
    vec2 u = f * f * (3.0 - 2.0 * f);
    return mix( mix( random( i + vec2(0.0,0.0) ),
                     random( i + vec2(1.0,0.0) ), u.x),
                mix( random( i + vec2(0.0,1.0) ),
                     random( i + vec2(1.0,1.0) ), u.x), u.y);
}

void main() {
    vec2 st = vUv * 20.0;
    gl_FragColor.rgb = vec3(noise(st));
    gl_FragColor.a = 1.0;
}
```

通过上面的代码，我们就可以得到下面这个看起来比较模糊的噪声图案。

模糊的噪声图案

噪声的应用

那你可能想问了，我们上面实现的一维噪声波形和二维的模糊噪声图案都比较简单，那它们到底是怎么模拟自然界中的现象，又该怎么实现有趣的视觉效果呢？

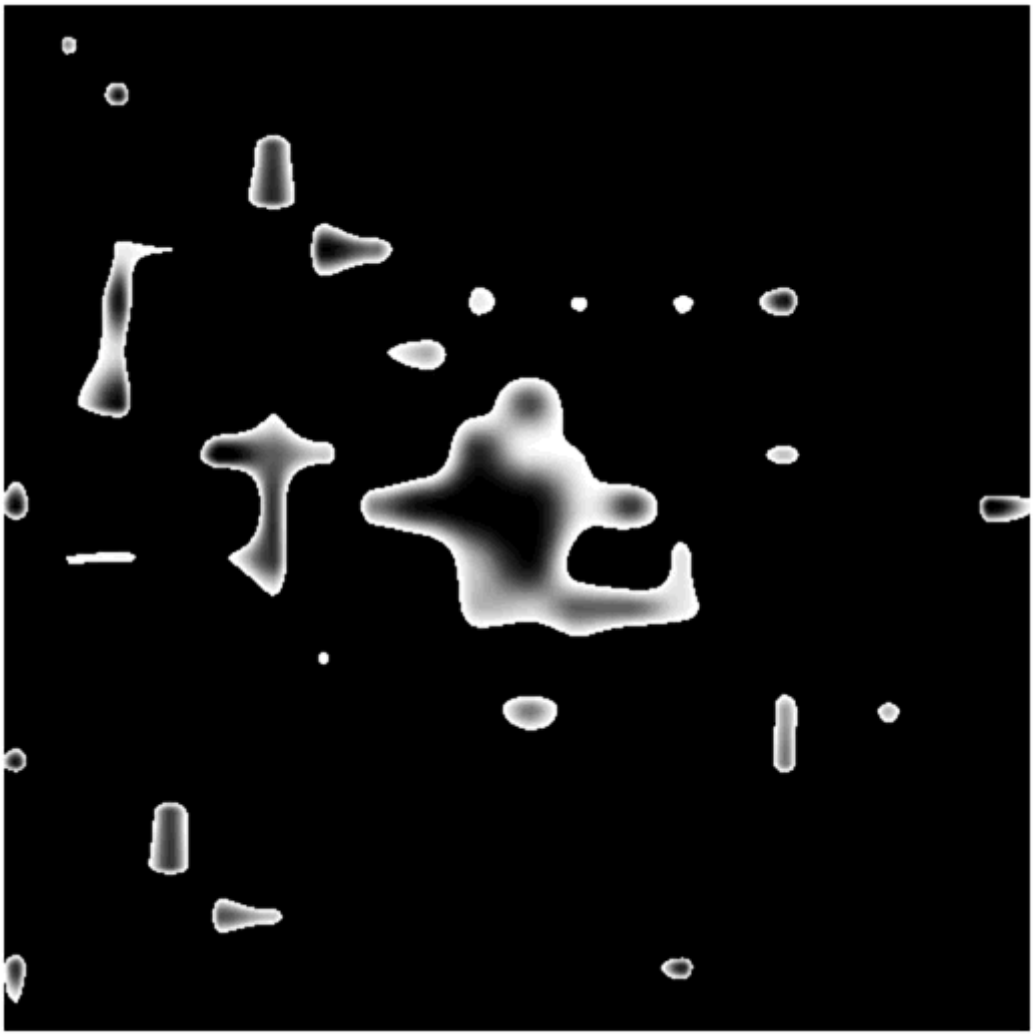
接下来，我们先结合上面得到的噪声函数，来讲 2 个简单的噪声应用，让你对它们能有更具体的认知。然后，我会在此基础上，再讲一些其他噪声函数，以及噪声能实现的更复杂

视觉效果，让你对噪声有更深入的理解。

首先，我们可以结合噪声和距离场，来实现类似于水滴滚过物体表面的效果。

复制代码

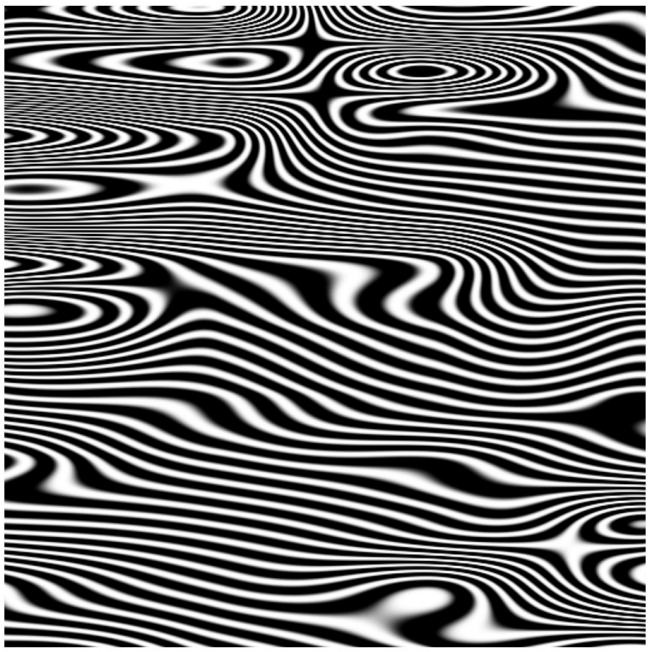
```
void main() {
    vec2 st = mix(vec2(-10, -10), vec2(10, 10), vUv);
    float d = distance(st, vec2(0));
    d *= noise(uTime + st);
    d = smoothstep(0.0, 1.0, d) - step(1.0, d);
    gl_FragColor.rgb = vec3(d);
    gl_FragColor.a = 1.0;
}
```



我们也可以使用不同的距离场构造方式，加上旋转噪声，构造出类似于木头的条纹。代码如下：

复制代码

```
float lines(in vec2 pos, float b){
  float scale = 10.0;
  pos *= scale;
  return smoothstep(0.0, 0.5 + b * 0.5, abs((sin(pos.x * 3.1415) + b * 2.0)) *
}

vec2 rotate(vec2 v0, float ang) {
  float sinA = sin(ang);
  float cosA = cos(ang);
  mat3 m = mat3(cosA, -sinA, 0, sinA, cosA, 0, 0, 0, 1);
  return (m * vec3(v0, 1.0)).xy;
}

void main() {
  vec2 st = vUv.yx * vec2(10.0, 3.0);
  st = rotate(st, noise(st));

  float d = lines(st, 0.5);

  gl_FragColor.rgb = 1.0 - vec3(d);
  gl_FragColor.a = 1.0;
}
```



这两个应用的实现代码非常简单，你直接看代码就能理解。我更希望的是，你能通过我给出的代码，来理解这种噪声结合距离场的实现思路。

梯度噪声

我们前面说的噪声算法，它的原理是对离散的随机值进行插值，因此它又被称为**插值噪声**（Value Noise）。插值噪声有一个缺点，就是它的值的梯度不均匀。最直观的表现就是，二维噪声图像有明显的“块状”特点，不够平滑。

想要解决这个问题，我们可以使用另一种噪声算法，也就是**梯度噪声**（Gradient Noise）。梯度噪声是对随机的二维向量来插值，而不是一维的随机数。这样我们就能够获得更加平滑的噪声效果。梯度噪声的代码如下：

复制代码

```
#ifdef GL_ES
precision highp float;
#endif

varying vec2 vUv;

vec2 random2(vec2 st){
  st = vec2( dot(st,vec2(127.1,311.7)),
            dot(st,vec2(269.5,183.3)) );
  return -1.0 + 2.0 * fract(sin(st) * 43758.5453123);
}

// Gradient Noise by Inigo Quilez - iq/2013
// https://www.shadertoy.com/view/XdXGW8
float noise(vec2 st) {
  vec2 i = floor(st);
  vec2 f = fract(st);
  vec2 u = f * f * (3.0 - 2.0 * f);

  return mix( mix( dot( random2(i + vec2(0.0,0.0) ), f - vec2(0.0,0.0) ),
                   dot( random2(i + vec2(1.0,0.0) ), f - vec2(1.0,0.0) ), u.x),
              mix( dot( random2(i + vec2(0.0,1.0) ), f - vec2(0.0,1.0) ),
                   dot( random2(i + vec2(1.0,1.0) ), f - vec2(1.0,1.0) ), u.x),
}

void main() {
    vec2 st = vUv * 20.0;
    gl_FragColor.rgb = vec3(0.5 * noise(st) + 0.5);
    gl_FragColor.a = 1.0;
}
```

梯度噪声可以平滑到什么程度呢？我在下面给出了两种噪声算法生成的图像，你可以明显得看出对比。第一个图是插值噪声的效果，黑白色之间过渡不够平滑，还有明显的色块感，第二个图是梯度噪声的效果，黑白的过渡就明显平滑多了，不再呈现块状。

插值噪声与梯度噪声对比

因此，梯度噪声在二维空间中的应用更广泛，许多有趣的模拟自然界特效的视觉实现都采用了梯度噪声。你可以研究一下Shadertoy.com平台上的一些例子，其中很多模拟自然界的例子都和梯度噪声有关，我就不一一列举了。

用噪声实现云雾效果

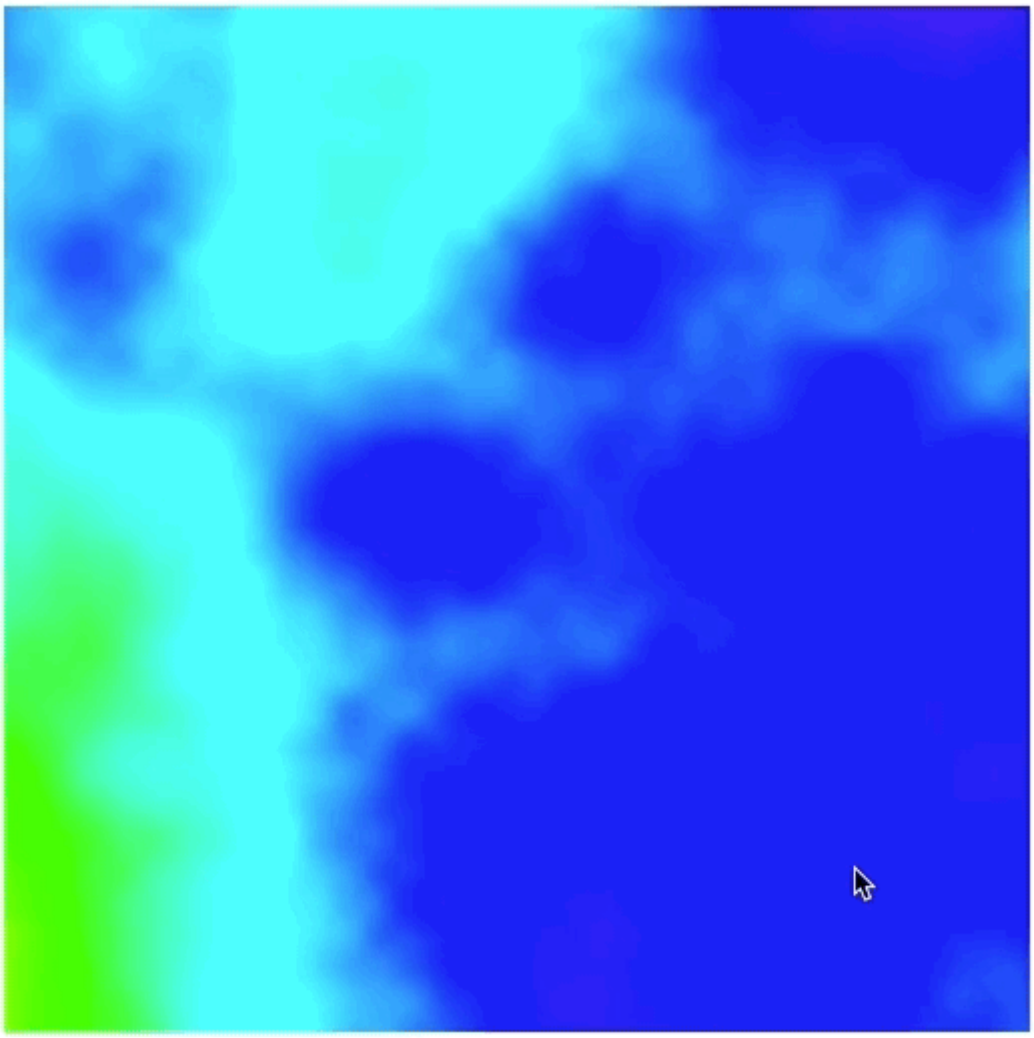
我还想给你讲一种使用噪声来模拟云雾效果的方法。如果你看过极客时间里 winter 老师的《重学前端》，可能对这个方法有所了解，因为他在一篇加餐简单提到过。在这里，我想给你详细说说云雾效果究竟是怎么实现的。

我们可以通过改变噪声范围，然后按照不同权重来叠加的方式创造云雾效果。比如，我们可以将噪声叠加 6 次，然后让它每次叠加的时候范围扩大一倍，但是权重减半。通过这个新的噪声算法，我们就能生成云雾效果了。你也可以试试，让这个噪声配合色相变化，可以创造出非常有趣的图形，比如模拟飞机航拍效果。

复制代码

```
//

#define OCTAVES 6
float mist(vec2 st) {
  //Initial values
  float value = 0.0;
  float amplitude = 0.5;

  // 叠加6次
  for(int i = 0; i < OCTAVES; i++) {
    // 每次范围扩大一倍，权重减半
    value += amplitude * noise(st);
    st *= 2.0;
    amplitude *= 0.5;
  }
  return value;
}

//配合色相的变化

void main() {
  vec2 st = vUv;
  st.x += 0.1 * uTime;
  gl_FragColor.rgb = hsb2rgb(vec3 (mist(st), 1.0, 1.0));
  gl_FragColor.a = 1.0;
```

```
26 }
```



使用云雾效果生成的图案，非常像是飞机航拍

Simplex Noise

接下来，我还想给你讲一种更新的噪声算法，它是 Ken Perlin 在 2001 年的 Siggraph 会议上展示的 Simplex Noise 算法。

相比于前面的噪声算法，Simplex Noise 算法有更低的计算复杂度和更少的乘法运算，并且可以用更少的计算量达到更高的维度，而且它制造出的噪声非常自然。

Simplex Noise 与插值噪声以及梯度噪声的不同之处在于，它不是对四边形进行插值，而是对三角网格进行插值。与四边形插值相比，三角网格插值需要计算的点更少了，这样自然大大降低了计算量，从而提升了渲染性能。

Simplex Noise 具体的实现思路非常精巧和复杂，其中包含的数学技巧比较高深，这里我就不详细来讲了，如果你有兴趣学习可以参考 Book of Shaders 的文章来学习。

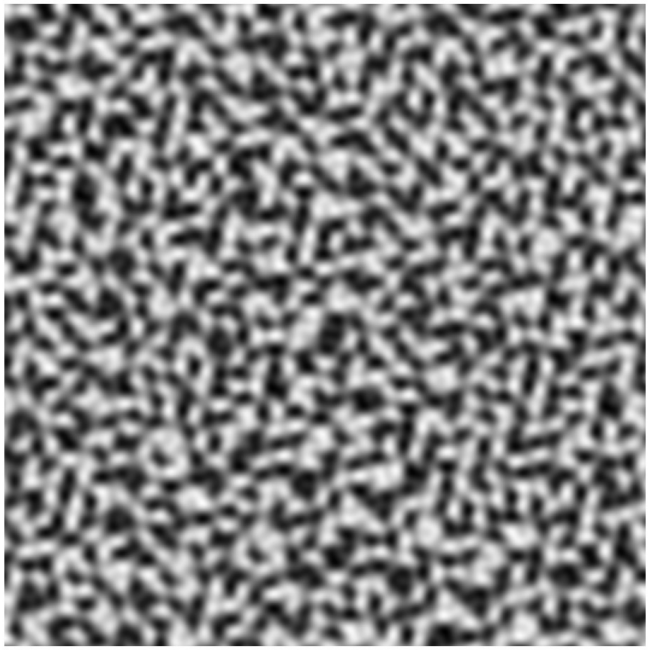
尽管 Simplex Noise 的原理很巧妙和复杂，但是在 Shader 中实现 Simplex Noise 代码并不算太复杂，你可以记住下面的代码，在需要的时候直接拿来使用。

复制代码

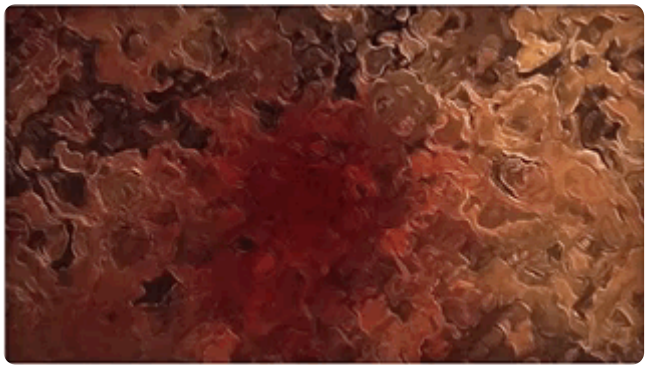
```
vec3 mod289(vec3 x) { return x - floor(x * (1.0 / 289.0)) * 289.0; }
vec2 mod289(vec2 x) { return x - floor(x * (1.0 / 289.0)) * 289.0; }
vec3 permute(vec3 x) { return mod289(((x*34.0)+1.0)*x); }

//
// Description : GLSL 2D simplex noise function
//      Author : Ian McEwan, Ashima Arts
//  Maintainer : ijm
//     Lastmod : 20110822 (ijm)
//     License :
//  Copyright (C) 2011 Ashima Arts. All rights reserved.
//  Distributed under the MIT License. See LICENSE file.
//  https://github.com/ashima/webgl-noise
//
float noise(vec2 v) {
    // Precompute values for skewed triangular grid
    const vec4 C = vec4(0.211324865405187,
                        // (3.0-sqrt(3.0))/6.0
                        0.366025403784439,
                        // 0.5*(sqrt(3.0)-1.0)
                        -0.577350269189626,
                        // -1.0 + 2.0 * C.x
                        0.024390243902439);
                        // 1.0 / 41.0

    // First corner (x0)
    vec2 i  = floor(v + dot(v, C.yy));
    vec2 x0 = v - i + dot(i, C.xx);

    // Other two corners (x1, x2)
    vec2 i1 = vec2(0.0);
    i1 = (x0.x > x0.y)? vec2(1.0, 0.0):vec2(0.0, 1.0);
    vec2 x1 = x0.xy + C.xx - i1;
    vec2 x2 = x0.xy + C.zz;

    // Do some permutations to avoid
    // truncation effects in permutation
    i = mod289(i);
    vec3 p = permute(
            permute( i.y + vec3(0.0, i1.y, 1.0))
                + i.x + vec3(0.0, i1.x, 1.0 ));
```

```
    vec3 m = max(0.5 - vec3(
                        dot(x0,x0),
                        dot(x1,x1),
                        dot(x2,x2)
                        ), 0.0);

    m = m*m ;
    m = m*m ;

    // Gradients:
    //  41 pts uniformly over a line, mapped onto a diamond
    //  The ring size 17*17 = 289 is close to a multiple
    //      of 41 (41*7 = 287)
    vec3 x = 2.0 * fract(p * C.www) - 1.0;
    vec3 h = abs(x) - 0.5;
    vec3 ox = floor(x + 0.5);
    vec3 a0 = x - ox;

    // Normalise gradients implicitly by scaling m
    // Approximation of: m *= inversesqrt(a0*a0 + h*h);
    m *= 1.79284291400159 - 0.85373472095314 * (a0*a0+h*h);

    // Compute final noise value at P
    vec3 g = vec3(0.0);
    g.x  = a0.x  * x0.x  + h.x  * x0.y;
    g.yz = a0.yz * vec2(x1.x,x2.x) + h.yz * vec2(x1.y,x2.y);
    return 130.0 * dot(m, g);
}

void main() {
    vec2 st = vUv * 20.0;
    gl_FragColor.rgb = vec3(0.5 * noise(st) + 0.5);
    gl_FragColor.a = 1.0;
}
```

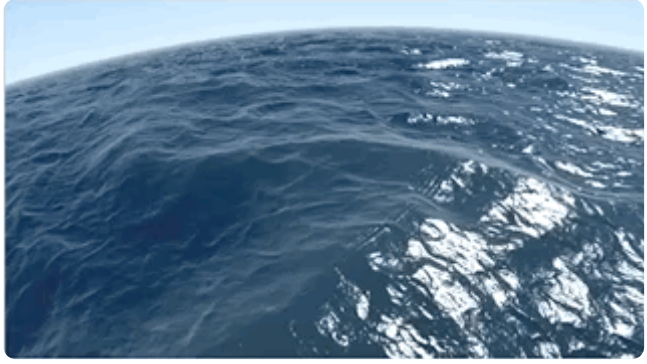
渲染效果如下图：



Simplex Noise 可以实现出令人惊叹的效果，在Shadertoy.com平台上经常有大神分享他们创作的神奇效果。比如，这个像某种溶洞的岩壁效果，就有一种大自然鬼斧神工的韵味在。



再比如，这种像电影大片中才有的效果，你很难想象这并不是视频，甚至不是图片，只不过是我们用数学公式在 Shader 中计算并绘制出来的图案而已。



网格噪声

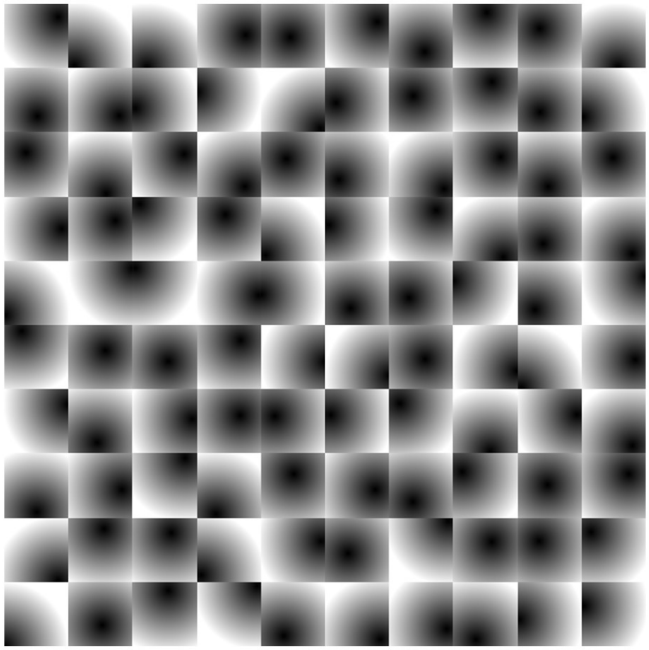
最后，我们来讲讲网格噪声。前面我们已经使用过大量网格化的技术，我想你也应该比较熟悉了。那什么是网格噪声呢？它就是将噪声与网格结合使用的一种纹理生成技术。下面，让我们通过一个生成动态生物细胞的例子，来详细理解一下如何使用网格噪声。

首先，我们用网格技术将画布分为 10*10 的网格。然后，我们构建距离场。这个距离场是在每个网格中随机一个特征点，然后计算网格内到该点的距离，最后根据距离来着色。

复制代码

```
#ifdef GL_ES
precision highp float;
#endif

varying vec2 vUv;
uniform float uTime;

vec2 random2(vec2 st){
  st = vec2( dot(st,vec2(127.1,311.7)),
            dot(st,vec2(269.5,183.3)) );
  return fract(sin(st) * 43758.5453123);
}

void main() {
  vec2 st = vUv * 10.0;

  float d = 1.0;
  vec2 i_st = floor(st);
  vec2 f_st = fract(st);

  vec2 p = random2(i_st);
  d = distance(f_st, p);
  gl_FragColor.rgb = vec3(d);
  gl_FragColor.a = 1.0;
}
```

通过上面的代码，我们最终能得到如下的效果：

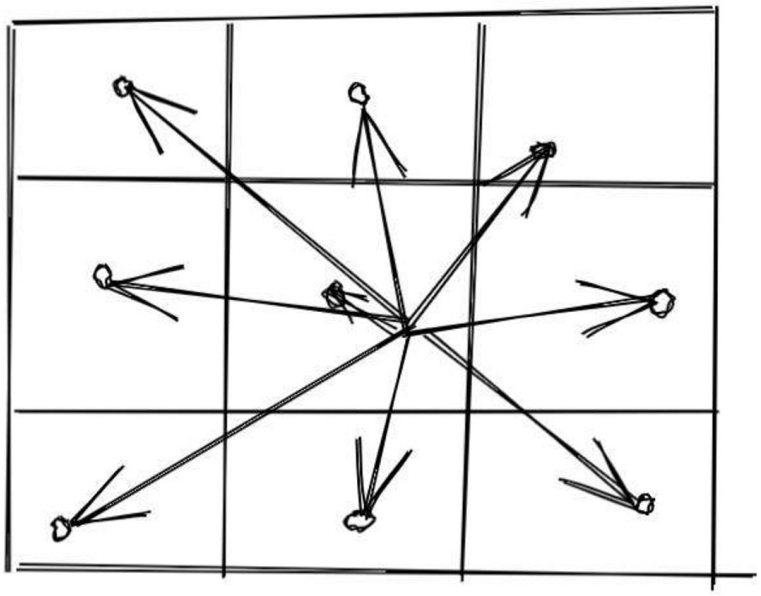


我们可以看到，这里的每个网格是独立的，并且界限分明。那如果我们想让它们的边界过渡更圆滑该怎么办呢？我们可以在原来的代码上做改变，具体来说就是不仅计算特征点到当前网格的距离，还要计算它到周围相邻的 8 个网格的距离，然后取最小值。与其他的编程语言类似，这个可以通过 for 循环来实现：

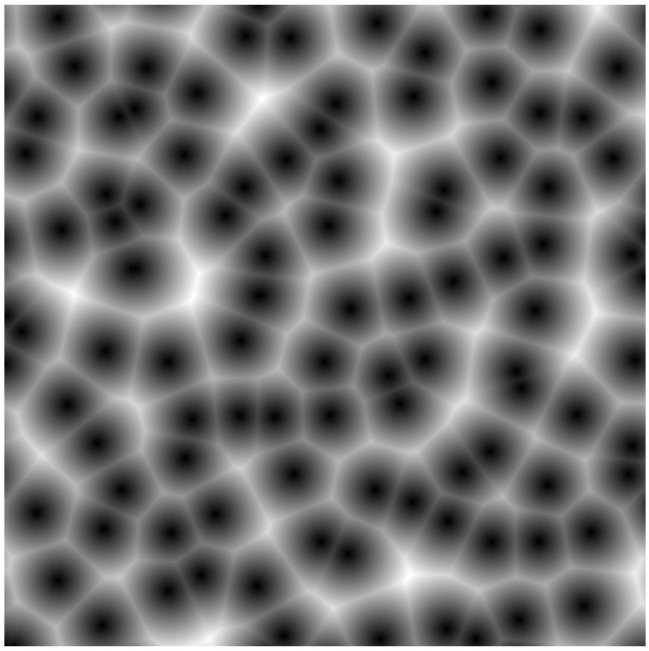
复制代码

```
void main() {
  vec2 st = vUv * 10.0;
  float d = 1.0;
  vec2 i_st = floor(st);
  vec2 f_st = fract(st);

  for(int i = -1; i <= 1; i++) {
    for(int j = -1; j <= 1; j++) {
      vec2 neighbor = vec2(float(i), float(j));
      vec2 p = random2(i_st + neighbor);
      d = min(d, distance(f_st, neighbor + p));
    }
  }

  gl_FragColor.rgb = vec3(d);
  gl_FragColor.a = 1.0;
}
```

这里有一点需要注意，GLSL 语言的 for 循环限制比较多。其中，检查循环是否继续的次数必须是常量，不能是变量。所以 GLSL 中没有动态循环，而且迭代的次数必须是确定的。这里我们要检查 9 个网格，所以就用了两重循环来实现。



计算像素坐标到九个特征点的最短距离

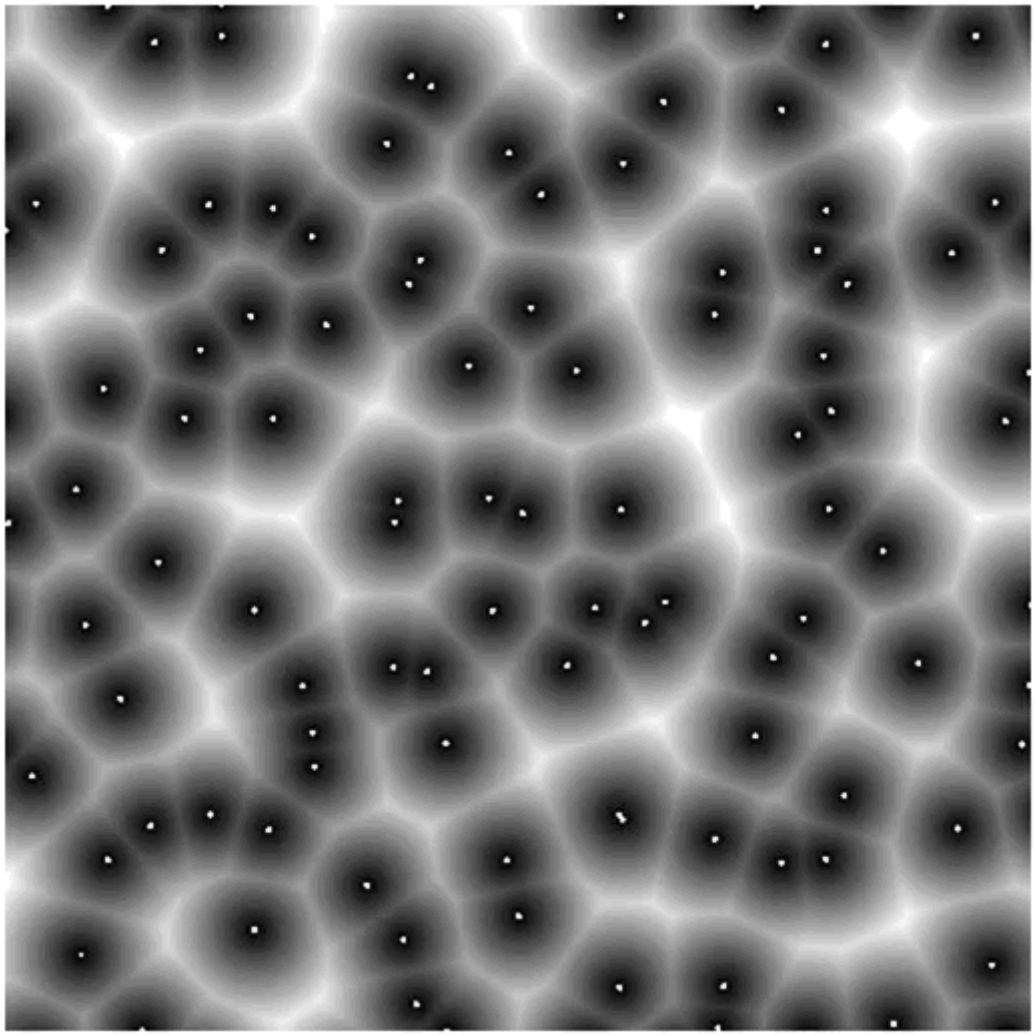


然后我们加上 uTime，让网格动起来，另外我们把特征点也给显示出来。我们修改一下代码：

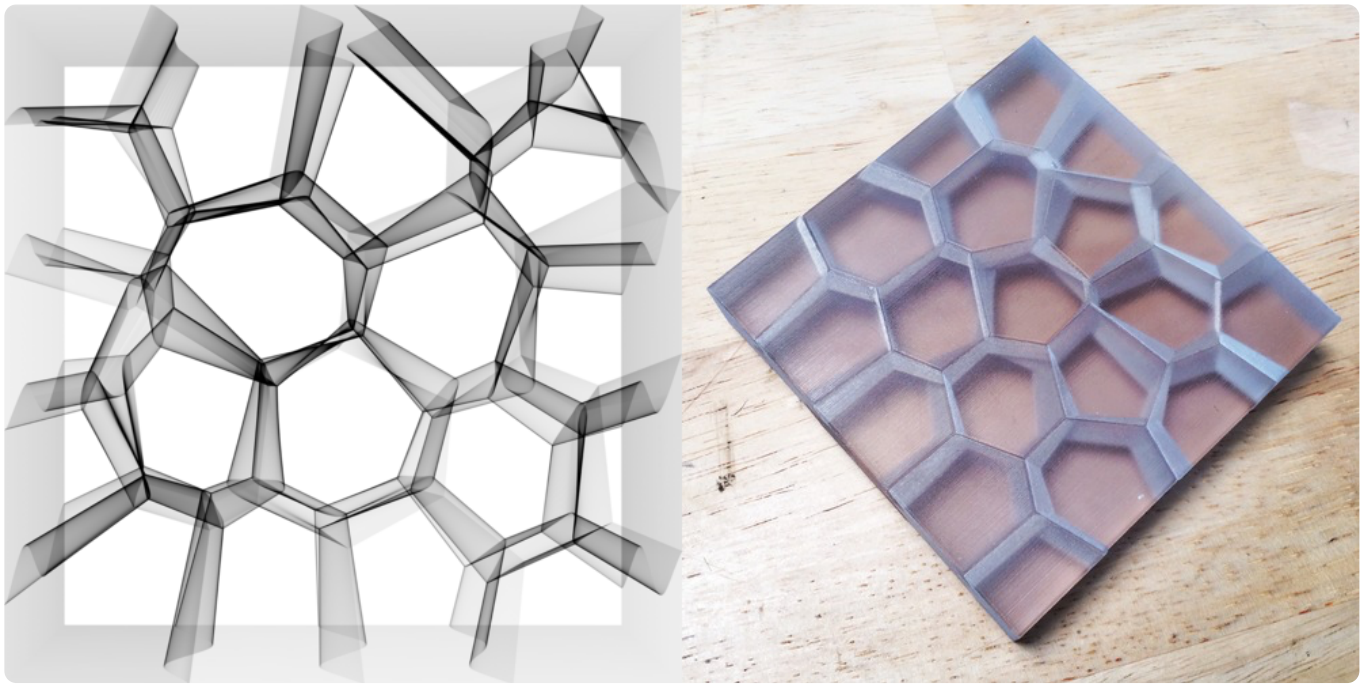
复制代码

```
void main() {
  vec2 st = vUv * 10.0;

  float d = 1.0;
  vec2 i_st = floor(st);
  vec2 f_st = fract(st);

  for(int i = -1; i <= 1; i++) {
    for(int j = -1; j <= 1; j++) {
      vec2 neighbor = vec2(float(i), float(j));
      vec2 p = random2(i_st + neighbor);
      p = 0.5 + 0.5 * sin(uTime + 6.2831 * p);
      d = min(d, distance(f_st, neighbor + p));
    }
  }

  gl_FragColor.rgb = vec3(d) + step(d, 0.03);
  gl_FragColor.a = 1.0;
}
```

这样，最终绘制的效果如下，它就有点像是运动的生物细胞。



网格噪声是一种目前被广泛应用的程序化纹理技术，用来生成随机网格类的视觉效果，可以用来模拟物体表面的晶格、晶体生长、细胞、微生物等等有趣的效果。



网格噪声模拟物体表面晶格，图片来源于The Book of Shaders

要点总结

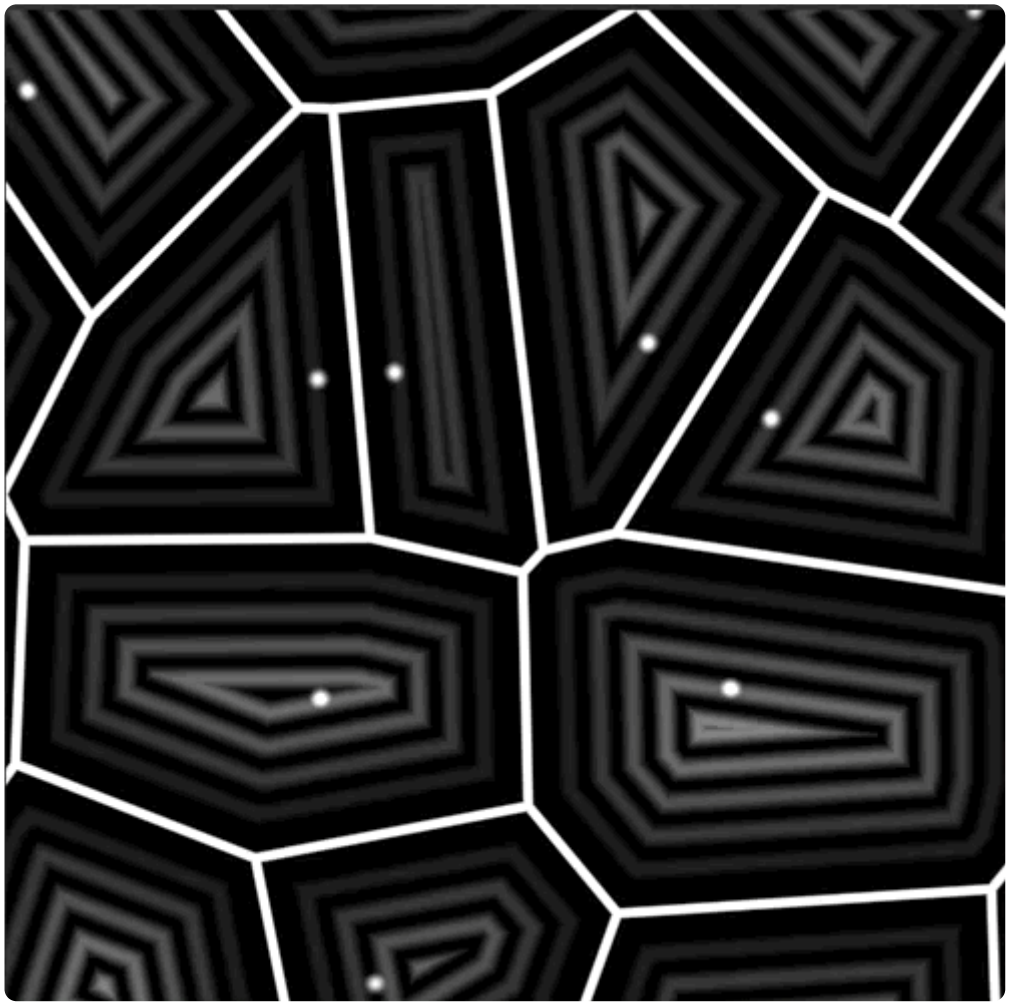
总的来说，这节课我给你讲的技术，实际上是一种复杂的程序化纹理生成技术。所谓程序化纹理生成技术，就是用程序来生成物体表面的图案。我们在这些图案中引入类似于自然界中的随机性，就可以模拟出自然的、丰富多采的，以及包含真实细节的纹理图案。

这其中最有代表性的就是噪声了，噪声就是随机性与连续性结合而成的。噪声是自然界中普遍存在的自然规律。模拟噪声的基本思路是对离散的随机数进行平滑处理，对随机数进行平滑处理有不同的数学技巧，所以有插值噪声、梯度噪声、Simplex Noise 等等不同的噪声算法。它们各有特点，我们可以根据不同的情况来选择怎么使用。

这一节课的内容偏向于技巧性，要想掌握好，我建议你多动手实践。我推荐给你一个非常不错的平台，Shadertoy.com 。它是一个非常优秀的创作和分享着色器效果的平台，你可以在上面学习到很多优秀的案例，然后通过代码来理解创作者的创意和思路，巩固今天所学的知识。

小试牛刀

你能试着写出一个 Shader，来实现我在下面给出的网格噪声效果吗？欢迎你把它分享出来。



欢迎在留言区和我讨论，分享你的答案和思考，也欢迎你把这节课分享给你的朋友，我们下节课再见！

源码

完整示例代码见GitHub 仓库

推荐阅读

[1] Shadertoy

[2] The Book of Shaders

提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 15 | 如何用极坐标系绘制有趣图案？

下一篇 加餐一 | 作为一名程序员，数学到底要多好？

精选留言

写留言

> 由作者筛选后的优质留言将会公开显示，欢迎踊跃留言。